

소형 차선도색 자동화 장비의 성능 평가에 관한 연구

이용문* · 김상태** · 김흥래*** · 최기주****

Lee, Yongmun*, Kim, Sangtae**, Kim, Heungrae***, Choi, Keechoo****

Performance Evaluation of the Small Automatic Line Marking Equipment

ABSTRACT

In order to improve the nighttime visibility of the lane, the need for the development of the automated line marking equipment is on the rise. The purpose of this study is to suggest performance assessment methodology that can be assessed from various aspects such as productivity, safety and quality performance of line marking equipment and to comprehensively analyze the performance of hand-operated and automated equipment based on field test. The following shows the results. It suggested a methodology capable of analyzing the performance of the line marking equipment in terms of productivity, safety and quality. Automated equipment for line marking was analyzed that can be obtained productivity achievement rate of 156.3% as compared with hand-operated equipment. On the basis of the expert advise and literature review, we derived twelve safety factors and ten quality factors of unit work in line marking. By utilizing the AHP technique, we estimated the importance of safety and quality factors. Automated equipment for line marking was analyzed to have been able to expect safety improvement rate of 49.8% and quality improvement rate of 47.2%. It is expected that the performance assessment methodology suggested in this study will be useful in analyzing objective and quantitative validity and expected effectiveness of the line marking equipment.

Key words : Performance assessment, Line marking equipment, Productivity, Safety, Quality

초 록

차선의 야간 시인성 향상을 위하여 차선도색 자동화 장비에 대한 개발 필요성이 대두되고 있다. 본 연구의 목적은 차선도색 장비의 성능을 생산성, 안전성 및 품질과 같은 다양한 측면에서 평가할 수 있는 방법론을 제시하고, 현장실험을 바탕으로 수동식 장비와 자동식 장비의 성능을 종합적으로 비교 및 분석하고자 한다. 연구결과는 다음과 같다. 차선도색 장비의 성능을 생산성, 안전성 및 품질 측면에서 분석할 수 있는 방법론을 제시하였다. 생산성 측면에서 차선도색 자동화 장비는 기존 수동식 장비와 비교하여 156.3%의 생산성 달성비율을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다. 전문가 자문 및 문헌고찰을 바탕으로, 차선도색 단위작업의 안전성 요인 12개와 품질 요인 10개를 도출하였다. AHP 기법을 활용하여 안전성 및 품질 요인별 중요도를 산정하였다. 안전성 및 품질 측면에서 자동화 장비 개발로 인한 성능평가 결과, 안전성 향상률 49.8%와 품질 향상률 47.2%를 기대할 수 있는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제시한 성능평가 방법론을 통하여 차선도색 장비에 대한 객관적이고 정량적인 개발 타당성 및 기대효과 제시가 가능할 것으로 판단된다.

검색어 : 성능평가, 차선도색 장비, 생산성, 안전성, 품질

* 정회원 · 평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원 (Corresponding Author · Pyunghwa Engineering Consultants LTD · leeym@pec.kr)

** 평화엔지니어링 기술연구원 연구위원 (Pyunghwa Engineering Consultants LTD · stkim99@pec.kr)

*** 평화엔지니어링 기술연구원 부사장 (Pyunghwa Engineering Consultants LTD · hrkpro@pec.kr)

**** 종신회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 교수 (Ajou University · keechoo@ajou.ac.kr)

Received May 30, 2016/ revised June 15, 2016/ accepted June 29, 2016

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현행 차선도색의 문제점은 대부분 시공장비의 한계로 인해 발생하는 것으로 수동식 장비의 개선이 없는 차선의 시인성 및 내구성 확보가 어렵다. 이에 따라 경찰청의 「교통노면표시 설치관리 매뉴얼」과 각 관할기관별 차선도색 기준에서 현행 차선도색 문제점을 해결하기 위하여 시공장비에 대한 기준을 상향하여 제시하고 있다. 하지만 대부분의 차선도색 업체가 영세하기 때문에, 현재의 저가나 잘 환경에서 많은 비용이 필요한 장비개선에 대한 투자에는 한계가 있는 실정이다. 따라서 실제 현장에서는 시공장비 기준을 만족하지 못함에도 불구하고 여전히 공사의 시급성으로 인하여 기존 수동식 시공장비로 차선도색이 지속되고 있는 실정이다. 일부 업체에서는 대형장비 개발을 통하여 차선도색 기준을 만족하고 있지만, 업체가 제한적이고 주로 고속도로 등에 대량 물량 위주로 시공이 되고 있어 도심지 시공에는 한계가 있다.

해외에서는 다양한 업체에서 대형 마카차가 아닌, 소형 차선도색 자동화 장비를 개발하여 시공하고 있다. 소형 차선도색 자동화 장비는 우선적으로 도심지 시공이 가능하고, 작업자 의존도를 낮추어 생산성을 향상시키며, 동시에 작업자의 안전성 및 차선의 품질 확보가 가능하다.

국내에서도 상향된 시공장비 기준을 만족하기 위하여 소형 차선도색 자동화 장비에 대한 필요성이 커짐에 따라 다양한 연구가 진행되고 있지만, 차선도색 개발 장비에 대한 객관적이고 정량적인 성능분석 방법론이 부족하여 개발 타당성 및 기대효과에 대한 검증이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 소형 차선도색 자동화 장비를 대상으로 개발 장비의 성능을 생산성, 안전성 및 품질과 같은 다양한 측면에서 평가할 수 있는 방법론을 제시하고, 현장실험을 바탕으로 수동식 장비와 자동식 장비의 성능을 종합적으로 비교 및 분석하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 내용

본 연구에서 수행한 연구 방법 및 내용은 다음과 같다.

첫째, 문헌조사를 통하여 차선도색 자동화 장비 개발시 성능 평가 방법에 대해서 고찰하였다.

둘째, 현장조사를 통해 측정된 수동식 장비의 생산성과 비교하여 개발된 자동화 장비의 생산성을 분석하였다.

셋째, 전문가 자문 및 문헌고찰을 바탕으로, 차선도색 단위작업의 안전성 및 품질 요인을 도출하였다. 다음으로 AHP 기법을 활용하여 안전성 및 품질 요인별 중요도를 산정하였다.

넷째, VE 분석단계의 성능평가기법을 활용하여 자동화 장비 개발시 안전성 및 품질 향상률에 대해서 정량적으로 분석하였다.

2. 기존 연구 고찰

본 연구에서는 자동화 장비 개발시 성능 평가 관련 연구내용에 대하여 고찰하였다.

Ryu et al. (2004)은 휴관매설 자동화 장비를 대상으로 개발 장비의 성능분석을 위한 성능평가 모델 및 방법론을 제시하고, 현장실험 데이터를 바탕으로 재래식 휴관매설 방식과 자동화 방식의 성능을 종합적으로 비교·분석함으로써 재래식 방식에 비해 자동화 방식의 도입을 통해 얻을 수 있는 정성적·정량적 기대효과를 제시하였다.

Lee et al. (2006)은 개발된 크랙실링 자동화 장비의 현장 실험시 재래식 방식과 자동화 방식의 생산성을 효과적으로 비교·측정할 수 있는 생산성 측정 모델을 개발하고, 이를 통해 도출된 생산성 데이터를 바탕으로 경제성 분석 기법(편익/비용 비율 분석, 수익률 분석, 손익분기점 분석, 민감도 분석)을 활용하여 자동화 방식을 도입·적용함으로써 얻을 수 있는 경제적 타당성을 분석하였다. 또한, 재래식 크랙실링 방식을 자동화 함으로써 얻을 수 있는 사회적 편익 즉, 교통 혼잡 비용의 감소로 인한 경제적 편익을 시물레이션 기법을 활용하여 분석하였다.

Han et al. (2006)은 워터젯 기술을 이용한 노면표시 제거 장비를 개발하고, 개발장비의 성능을 현장실험 결과를 바탕으로 하여, 생산성, 안전성, 품질, 투입인력, 투입비용 등 다양한 측면에서 평가하였다. 또한, 기존 노면표시제거 방식과 개발장비에 의한 방식간의 교통혼잡비용을 비교하고 생산성 향상에 따른 사회적 편익을 분석하였다.

Lee and Kim (2008)은 자동화 기계 연구개발 단계를 타당성 분석 단계/제작 단계/실용화 및 마케팅 단계로 구분하고 각 단계에서 요구되는 건설자동화 기계의 성능 분석을 효율적으로 수행할 수 있도록 성능 분석 절차 및 방법론의 제시를 통해 건설자동화 기계의 종합적 성능 분석 모델 및 시스템을 개발하였다.

기존문헌 고찰결과, 자동화 장비 개발에 따른 효과에 대해서 정량적으로 평가하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. 하지만, 차선도색 자동화 장비에 대한 성능평가 연구를 수행한 사례는 없다. 본 연구에서는 차선도색 자동화 개발장비의 성능 평가라는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다.

3. 성능평가 방법

3.1 생산성 평가

본 연구에서는 단위 작업구간의 작업물량 대비 차선도색 시간을 워크샘플링(Work Sampling) 기법을 이용하여 측정하고, 이를 1일 작업시간(8시간) 동안 도색이 가능한 총 도색면적으로 환산하

였다. 워크샘플링 기법이란 작업자나 장비의 활동 또는 시간적 추이 등의 상황을 정량적으로 분석하기 위한 작업측정 기법으로 확률적인 통계원리에 기초를 두고 있다. 이는 건설업과 같이 비연속적이고, 비반복적인 작업측정에 알맞은 기법으로 통계적 신뢰도를 가지고 있다(Park, 2000).

차선도색 시간은 작업공정을 분석하여 수동식 방식과 자동화 방식에서 동일한 작업시간이 소요되는 공정을 제외하고 작업시간이 상이한 공정을 비교하여 측정하였다. 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에서 제시한 차선도색 시공시 용착식 공법의 시공 흐름도는 다음 Fig. 1과 같다.

차선도색 작업은 도로 설치 작업을 제외하고는 수동식 방식과 자동화 방식의 작업시간이 동일하다. 수동식 방식은 사람이 직접 장비를 밀면서 작업하기 때문에, 장비 운전자의 숙련도, 도로의 경사(오르막, 내리막)에 따라 영향을 받고, 또한 용착기와 도로의 무게 및 사람이 작업함에 따른 지속적인 사공에 한계가 있다. 반면에 자동화 방식은 엔진구동 방식으로 작업이 진행되어 수동식과 작업 시간에 차이가 발생한다. 이에 따라 「도로 설치」 공정에 대한

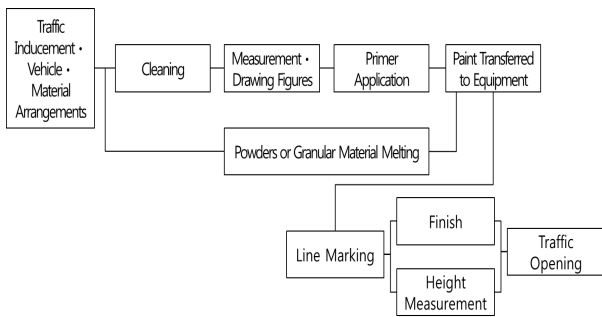


Fig. 1. Construction Flow Diagrams in Adhesive Line Marking



Fig. 2. Hand-Operated Equipment Test

Table 1. Productivity Test Result by Hand-Operated Equipment

| Classification | | Productivity |
|--------------------|----------------------------|--------------|
| Productivity | Distance (m/min) | 39.1 |
| | Area (m ² /min) | 5.9 |
| Daily Productivity | Distance (km/day) | 18.8 |
| | Area (m ² /day) | 2,816.9 |

작업시간을 측정하여 수동식 방식과 자동화 방식의 생산성을 비교 분석하였다.

수동식 장비 생산성은 현장조사를 통하여 측정하였고, 이를 일당 생산성으로 환산하였다(Table 1). 수동식 방식으로 차선도색을 하였을 때, 폭 15cm의 차선에 대하여 평균 분당 생산성은 39.1m/min이며, 일당 생산성은 18.8km/day이다. 이는 자동화 장비의 생산성을 분석하기 위한 기초 자료이다.

3.2 안전성 및 품질 향상을 평가

본 연구에서는 VE (Value Engineering) 분석단계의 성능평가 기법을 활용하여 차선도색 자동화 장비 개발로 인한 안전성과 품질 향상에 대해서 정량적으로 분석하고자 한다(Fig. 3).

차선도색 시공 흐름도에 따라 단위작업을 구분하였고, 단위작업 내 안전성 및 품질 평가항목은 전문가 자문 및 문헌고찰을 통하여 선정하였다.

단위작업 평가항목별 중요도 산정은 AHP (Analytic Hierarchy Process)기법을 활용하였고, AHP분석의 일관성 검증은 일관성 지수(C.I; Consistency Index)를 난수지수(R.I; Random Index)로 나눈 값인 일관성 비율(C.R; Consistency Ratio)을 활용하였다. 일관성 비율의 값이 10% 이내이면 일관성이 비교적 높은 것으로서 수락 가능한 것으로 판정한다.

등급평가는 등급부여기준을 활용하여 0~10점 사이의 범위에서

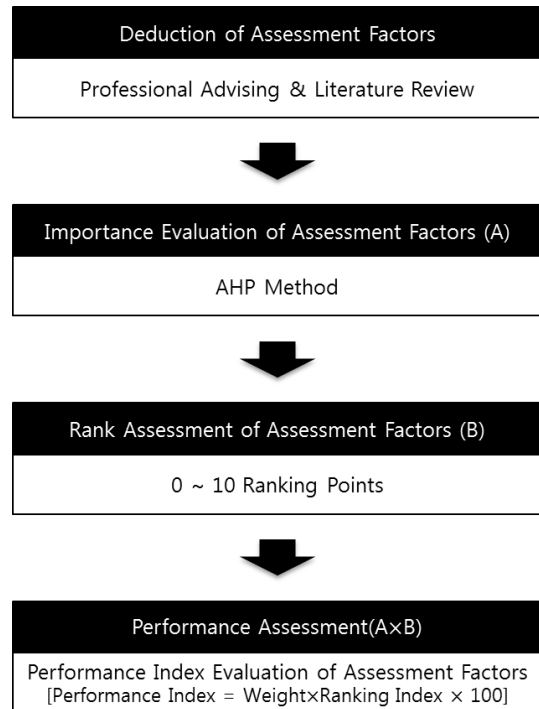


Fig. 3. Analysis Procedure of Safety and Quality Assessment

Table 2. Method Based on Assessment

| Rank | Contents of Assessment |
|------|---|
| 10 | Absolutely favorable alternative |
| 9 | Excellent alternative compared to the original bill |
| 8 | Very good alternative compared to the original bill |
| 7 | Good alternative compared to the original bill |
| 6 | Fairly good alternative compared to the original bill |
| 5 | Equivalent to the original bill and alternative |
| 4 | Fairly good original bill compared to the alternative |
| 3 | Good original bill compared to the alternative |
| 2 | Very good original bill compared to the alternative |
| 1 | Excellent original bill compared to the alternative |
| 0 | Absolutely favorable original bill |

등급을 적용하여 평가하며, 등급부여기준은 Table 2와 같다.
 성능지수는 평가항목별 중요도 산정결과와 등급평가 결과를 바탕으로 Eq. (1)를 활용하여 도출하였다.

$$P.I = W \times R.I \times 100 \quad (1)$$

where, P.I = Performance Index
 W = Weight
 R.I = Ranking Index

4. 차선도색 자동화 장비의 성능평가

4.1 생산성 분석

4.1.1 현장실험

본 절에서는 개발된 자동화 장비는 프로토타입으로 현장실험을 통하여 생산성을 측정하였다(Fig. 4). 실험은 길이 10m, 폭 15cm인 실선을 기준으로 10개의 단위작업 물량으로 구분하여 진행하였고, 수동식 장비의 생산성을 측정하였던 현장 환경과 최대한 유사한 실험환경을 설정하였다.

자동화 장비의 생산성 측정 결과, 거리기준 총 100m(면적기준 15.0m²)의 차선을 도색하는데 평균 분당 생산성은 61.2m/min이며, 일당 생산성은 29.4km/day로 나타났다.

4.1.2 생산성 향상

본 연구에서는 개발된 자동화 장비의 생산성을 기존 수동식 장비의 생산성과 비교하여, 자동화 장비 개발에 따른 생산성 달성 비율을 분석하였다.



Fig. 4. Automated Equipment Test

Table 3. Productivity Test Result by Automated Equipment

| Classification | Automated Equipment | | |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|
| | Distance (m) | Area (m ²) | Working Time (sec) |
| Line Marking (Width 15 cm) | 100 | 15 | 99 |
| Productivity | Distance (m/min) | | 61.2 |
| | Area (m ² /min) | | 9.2 |
| Daily Productivity | Distance (km/day) | | 29.4 |
| | Area (m ² /day) | | 4,404.0 |

Table 4. Comparison of Hand-Operated and Automated Equipment Productivity

| Classification | Hand-Operated Equipment (A) | Automated Equipment (B) | Gap (B-A) | PAR (B/A) |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| Distance (km/day) | 18.8 | 29.4 | 10.6 | 156.3% |
| Area (m ² /day) | 2,816.9 | 4,404 | 1,587.1 | |

자동화 장비의 1일 생산성과 수동식 장비의 1일 생산성을 비교한 결과, 수동식 장비 대비 자동화 장비의 생산성은 거리 기준 10.6km/day, 면적 기준 1,587.1m²/day가 높은 것으로 분석되었다. 측정된 생산성 데이터를 바탕으로 자동화 장비의 생산성 달성비율을 산출하였다.

$$\text{생산성 달성비율(Productivity Achievement Ratio)} = \frac{\text{자동화 장비의 생산성}}{\text{수동식 장비의 생산성}}$$

분석 결과, 현재 수동식 장비 생산성 대비 자동화 장비 개발로 인해 획득 가능한 생산성은 156.3%인 것으로 나타났다. 이는 수동식 장비의 일당 생산성인 18.8km/day (거리기준)와 동일한 물량의 차선도색을 자동화 장비로 대체할 경우 5시간 7분 1초가 소요되어, 결국 2시간 52분 59초의 작업시간 절감효과를 얻을 수 있음을 의미한다.

4.2 안전성 향상률 분석

4.2.1 안전성 평가항목 선정

본 연구에서는 소형 차선도색 자동화 장비 도입시 안전성 향상을 정량적으로 측정하기 위해 차선도색 시공 흐름도에 따라 단위작업을 크게 노면청소, 프라이머 도포, 설치기기에 도로 이입, 도포 설치로 구분하였고, 각각의 단위작업에서 안전에 영향을 미치는 안전성 요인 12개를 전문가 자문 및 문헌고찰을 통해 도출하였다 (Table 5).

노면청소 작업관련 안전성 요인은 1) 도로 복사열로 인한 열사병 위험, 2) 이물질, 먼지 등에 의한 인체 해로움, 3) 주변 교통으로 인한 사고 위험이 있고, 프라이머 도포 작업관련 안전성 요인은 4) 도로 복사열로 인한 열사병 위험, 5) 화기에 의한 화재 위험, 6) 주변 교통으로 인한 사고 위험이 있다. 설치기기에 도로 이입 작업관련 안전성 요인은 7) 높은 온도로 인한 화상 위험, 8) 주변 교통으로 인한 사고 위험이 있고, 도포 설치 작업관련 안전성 요인은 9) 도로 복사열로 인한 열사병 위험, 10) 높은 온도로 인한 화상 위험, 11) 화기에 의한 화재 위험, 12) 주변 교통으로 인한 사고 위험이 있는 것으로 분석되었다.

Table 5. Safety Factors

| Unit Work | Safety Factor |
|-----------------------------------|---|
| A. Cleaning | F _S -01 Heatstroke Risk caused by Radiant Heat of Road |
| | F _S -02 Human Body Harm caused by Debris, Dust, Etc |
| | F _S -03 Accident Risk caused by Surrounding Vehicle |
| B. Primer Application | F _S -04 Heatstroke Risk caused by Radiant Heat of Road |
| | F _S -05 Fire Risk caused by Firearms |
| | F _S -06 Accident Risk caused by Surrounding Vehicle |
| C. Paint Transferred to Equipment | F _S -07 Burns Risk caused by High Temperature |
| | F _S -08 Accident Risk caused by Surrounding Vehicle |
| D. Line Marking | F _S -09 Heatstroke Risk caused by Radiant Heat of Road |
| | F _S -10 Burns Risk caused by High Temperature |
| | F _S -11 Fire Risk caused by Firearms |
| | F _S -12 Accident Risk caused by Surrounding Vehicle |

Table 6. Safety Weighted Value of Unit Works

| Classification | A | B | C | D | Weighted Value | Fixed Weighted Value |
|------------------------------|---|-----|---|-----|----------------|----------------------|
| A | 1 | 1/2 | 3 | 1/4 | 0.168 | 16.8% |
| B | | 1 | 2 | 1/3 | 0.214 | 21.4% |
| C | | | 1 | 1/4 | 0.095 | 9.5% |
| D | | | | 1 | 0.523 | 52.3% |
| C.I = 0.05961, C.R = 0.06623 | | | | | 1.000 | 100.0% |

4.2.2 안전성 요인 중요도 산정

각 단위작업에서 도출된 안전성 요인은 사고발생에 미치는 영향에 차이가 있다. 따라서, 본 절에서는 AHP 기법을 활용하여 전문가 평가를 바탕으로 각 단위작업의 안전성 가중치를 쌍대비교(Pairwise Comparison)함으로써 산출하였고, 각 단위작업 내 안전성 요인에 대해서도 동일한 방법으로 산출된 가중치를 앞서 산출한 단위작업의 안전성 가중치를 반영하여 안전성 요인의 중요도를 산정하였다.

단위작업의 안전성 가중치 분석결과, 도포 설치가 52.3%로 안전에 미치는 영향이 가장 높은 단위작업으로 분석되었고, 다음으로 프라이머 도포 21.4%, 노면청소 16.8%, 설치기기에 도로 이입 9.5% 순으로 도출되었다. 산정된 가중치에 대한 일관성 비율(C.R;

Table 7. Importance of Safety Factors in Cleaning

| Classification | F _S -01 | F _S -02 | F _S -03 | Weighted Value | Importance |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _S -01 | 1 | 2 | 1/3 | 0.240 | 0.040 |
| F _S -02 | | 1 | 1/4 | 0.137 | 0.023 |
| F _S -03 | | | 1 | 0.623 | 0.105 |
| C.I = 0.00916, C.R = 0.01579 | | | | 1.000 | 0.168 |

Table 8. Importance of Safety Factors in Primer Application

| Classification | F _S -04 | F _S -05 | F _S -06 | Weighted Value | Importance |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _S -04 | 1 | 2 | 1/3 | 0.240 | 0.052 |
| F _S -05 | | 1 | 1/4 | 0.137 | 0.029 |
| F _S -06 | | | 1 | 0.623 | 0.133 |
| C.I = 0.00916, C.R = 0.01579 | | | | 1.000 | 0.214 |

Table 9. Importance of Safety Factors in Paint Transferred to Equipment

| Classification | F _S -07 | F _S -08 | Weighted Value | Importance |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _S -07 | 1 | 2 | 0.667 | 0.063 |
| F _S -08 | | 1 | 0.333 | 0.032 |
| C.I = 0.00000 | | | 1.000 | 0.095 |

Table 10. Importance of Safety Factors in Line Marking

| Classification | F _S -09 | F _S -10 | F _S -11 | F _S -12 | Weighted Value | Importance |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _S -09 | 1 | 1/2 | 2 | 1/5 | 0.128 | 0.067 |
| F _S -10 | | 1 | 2 | 1/5 | 0.176 | 0.092 |
| F _S -11 | | | 1 | 1/5 | 0.089 | 0.046 |
| F _S -12 | | | | 1 | 0.607 | 0.318 |
| C.I = 0.04110, C.R = 0.04566 | | | | | 1.000 | 0.523 |

Consistency Ratio)은 0.06623으로 0.1 보다 작게 나타나 일관성이 있는 분석으로 나타났다.

각 단위작업 내 안전성 요인의 가중치를 산출한 결과와 단위작업의 가중치를 반영한 안전성 요인의 중요도는 Tables 7~10과 같이 도출되었다.

4.2.3 안전성 향상률 평가

차선도색 전문가 평가를 바탕으로 수동식 장비와 자동화 장비의 안전성 평가항목별 등급을 Table 2를 활용하여 평가하였으며, 이를 통해 평가항목별 성능지수를 산정하였다.

각 단위작업의 안전성 향상률은 설치기기에 도로 이입 26.7%,

도포 설치 90.4%로 산출되어, 전체적으로 수동식 방식에 비해 자동화 방식이 49.8%의 안전성 향상률을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

4.3 품질 향상률 분석

4.3.1 품질 평가항목 선정

안전성 향상률 분석에서 분개된 단위작업을 바탕으로 각 단위작업에서 품질에 영향을 미치는 품질 요인 10개를 전문가 자문 및 문헌고찰을 통해 도출하였다.

노면청소 작업관련 품질 요인은 1) 이물질 제거 정도가 있고, 프라이머 도포 작업관련 품질 요인은 2) 프라이머 살포량 과다 및 부족, 3) 프라이머 건조 부족이 있다. 설치기기에 도로 이입 작업관련 품질 요인은 4) 용융조의 찌꺼기 혼입, 5) 과다 가열에 의한 변색이 있으며, 도포 설치 작업관련 품질 요인은 6) 도료와 비드의 균일 혼합(침전), 7) 사공시 도료 용해온도, 8) 유리알 살포시 비드 함침율, 9) 유리알 살포량, 10) 일정한 도막 두께가 있는 것으로 분석되었다.

Table 11. Safety Performance Assessment

| Unit Work | Safety Factor | Importance | Rank | | Performance | |
|-----------------------------------|---------------|------------|------|----|----------------------|-------|
| | | | H | A | H | A |
| A. Cleaning | FS-01 | 0.040 | 5 | 5 | 20.0 | 20.0 |
| | FS-02 | 0.023 | 5 | 5 | 11.5 | 11.5 |
| | FS-03 | 0.105 | 5 | 5 | 52.5 | 52.5 |
| | Sum | 0.168 | 15 | 15 | 84.0 | 84.0 |
| B. Primer Application | FS-04 | 0.052 | 5 | 5 | 26.0 | 26.0 |
| | FS-05 | 0.029 | 5 | 5 | 14.5 | 14.5 |
| | FS-06 | 0.133 | 5 | 5 | 66.5 | 66.5 |
| | Sum | 0.214 | 15 | 15 | 107.0 | 107.0 |
| C. Paint Transferred to Equipment | FS-07 | 0.063 | 5 | 6 | 31.5 | 37.8 |
| | FS-08 | 0.032 | 5 | 7 | 16.0 | 22.4 |
| | Sum | 0.095 | 10 | 13 | 47.5 | 60.2 |
| D. Line Marking | FS-09 | 0.067 | 5 | 9 | 33.5 | 60.3 |
| | FS-10 | 0.092 | 5 | 9 | 46.0 | 82.8 |
| | FS-11 | 0.046 | 5 | 8 | 23.0 | 36.8 |
| | Sum | 0.523 | 20 | 36 | 261.5 | 497.9 |
| Total | | 1.000 | 60 | 79 | 500.0 | 749.1 |
| Improvement of Safety Performance | | | | | △ 249.1 (▲ 49.8%) | |

Table 12. Quality Factors

| Unit Work | Quality Factor |
|-----------------------------------|---|
| A. Cleaning | F _Q -01 Removal Levels of Debris |
| B. Primer Application | F _Q -02 Excess and Shortage in Spraying Amount of Primer |
| | F _Q -03 Insufficient Drying of Primer |
| C. Paint Transferred to Equipment | F _Q -04 Mixing Residue in a Melter |
| | F _Q -05 Discoloration by Overheating |
| D. Line Marking | F _Q -06 Uniform Mixing of Paint and Glass Beads |
| | F _Q -07 Melting Temperature in Construction |
| | F _Q -08 Embedding Ratio in Spraying Glass Beads |
| | F _Q -09 Spraying Amount of Glass Beads |
| | F _Q -10 Uniform Film Thickness |

Table 13. Quality Weighted Value of Unit Works

| Classification | A | B | C | D | Weighted Value | Fixed Weighted Value |
|------------------------------|---|---|---|-----|----------------|----------------------|
| A | 1 | 2 | 3 | 1/3 | 0.247 | 24.7% |
| B | | 1 | 2 | 1/3 | 0.158 | 15.8% |
| C | | | 1 | 1/4 | 0.094 | 9.4% |
| D | | | | 1 | 0.501 | 50.1% |
| C.I = 0.02917, C.R = 0.03241 | | | | | 1.000 | 100.0% |

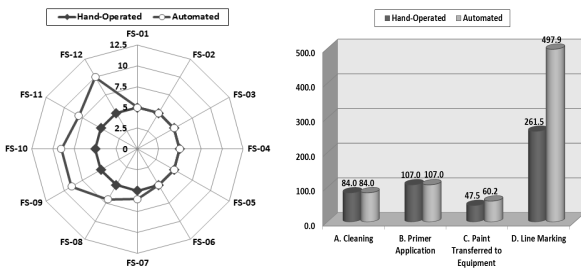


Fig. 5. Rank and Performance Assessment in Safety Factors

Table 14. Importance of Quality Factors in Primer Application

| Classification | F _Q -02 | F _Q -03 | Weighted Value | Importance |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _Q -02 | 1 | 1/4 | 0.200 | 0.032 |
| F _Q -03 | | 1 | 0.800 | 0.126 |
| C.I = 0.00000 | | | 1.000 | 0.158 |

Table 15. Importance of Quality Factors in Paint Transferred to Equipment

| Classification | F _Q -04 | F _Q -05 | Weighted Value | Importance |
|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _Q -04 | 1 | 1/3 | 0.250 | 0.023 |
| F _Q -05 | | 1 | 0.750 | 0.071 |
| C.I = 0.00000 | | | 1.000 | 0.094 |

Table 16. Importance of Quality Factors in Line Marking

| Classification | F _Q -06 | F _Q -07 | F _Q -08 | F _Q -09 | F _Q -10 | Weighted Value | Importance |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|------------|
| F _Q -06 | 1 | 1/3 | 1/4 | 1/4 | 1/5 | 0.062 | 0.031 |
| F _Q -07 | | 1 | 2 | 2 | 2 | 0.335 | 0.167 |
| F _Q -08 | | | 1 | 1 | 1 | 0.197 | 0.099 |
| F _Q -09 | | | | 1 | 1 | 0.197 | 0.099 |
| F _Q -10 | | | | | 1 | 0.209 | 0.105 |
| C.I = 0.03646, C.R = 0.03255 | | | | | | 1.000 | 0.501 |

4.3.2 품질 요인 중요도 산정

각 단위작업에서 도출된 품질 요인도 차선도색 전체 품질에 영향을 주는 정도가 다르기 때문에, 앞절의 위험성 요인 중요도 산정 방법론과 동일하게 품질 요인의 중요도를 산정하였다.

단위작업의 품질 가중치 분석결과, 도포 설치가 50.1%로 품질에 가장 높은 영향을 미치는 단위작업으로 분석되었고, 다음으로 노면 청소 24.7%, 프라이머 도포 15.8%, 설치기기에 도료 이입 9.4% 순으로 도출되었다. 산정된 가중치에 대한 일관성 비율은 0.03241로 0.1보다 작게 나타나 일관성이 있는 분석으로 나타났다.

각 단위 작업 내 품질 요인의 가중치를 산출한 결과와 단위작업의 가중치를 반영한 품질 요인의 중요도는 Tables 14~16과 같이 도출되었다.

4.3.3 품질 향상률 평가

차선도색 전문가 평가를 바탕으로 수동식 장비와 자동화 장비의 품질 평가항목별 등급을 평가하였으며, 이를 통해 평가항목별 성능 지수를 산정하였다.

각 단위작업의 품질 향상률은 설치기기에 도료 이입 60.4%, 도포 설치 83.0%로 산출되어, 전체적으로 수동식 방식에 비해

Table 17. Quality Performance Assessment

| Unit Work | Quality Factor | Importance | Rank | | Performance | |
|------------------------------------|--------------------|------------|------|----|----------------------|-------|
| | | | H | A | H | A |
| A. Cleaning | F _Q -01 | 0.247 | 5 | 5 | 123.5 | 123.5 |
| | Sum | 0.247 | 5 | 5 | 123.5 | 123.5 |
| B. Primer Application | F _Q -02 | 0.032 | 5 | 5 | 16.0 | 16.0 |
| | F _Q -03 | 0.126 | 5 | 5 | 63.0 | 63.0 |
| | Sum | 0.158 | 10 | 10 | 79.0 | 79.0 |
| C. Paint Transferred to Equipment | F _Q -04 | 0.023 | 5 | 5 | 11.5 | 11.5 |
| | F _Q -05 | 0.071 | 5 | 9 | 35.5 | 63.9 |
| | Sum | 0.094 | 10 | 14 | 47.0 | 75.4 |
| D. Line Marking | F _Q -06 | 0.031 | 5 | 9 | 15.5 | 27.9 |
| | F _Q -07 | 0.167 | 5 | 10 | 83.5 | 167.0 |
| | F _Q -08 | 0.099 | 5 | 9 | 49.5 | 89.1 |
| | F _Q -09 | 0.099 | 5 | 7 | 49.5 | 69.3 |
| | F _Q -10 | 0.105 | 5 | 10 | 52.5 | 105.0 |
| | Sum | 0.501 | 25 | 45 | 250.5 | 458.3 |
| Total | | 1.000 | 50 | 74 | 500.0 | 736.2 |
| Improvement of Quality Performance | | | | | △ 236.2 (▲ 47.2%) | |

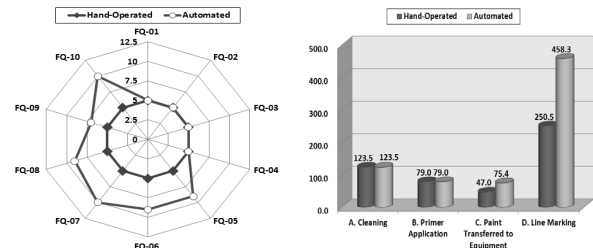


Fig. 6. Rank and Performance Assessment in Quality Factors

자동화 방식이 47.2%의 품질 향상률을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 차선도색 자동화 장비의 성능을 다양한 측면에서 평가할 수 있는 방법론을 제시하고, 현장실험을 바탕으로 수동식 장비와 자동식 장비의 성능을 비교·분석하였다. 본 연구를 수행하며 도출한 결론은 다음과 같다.

- (1) 차선도색 장비의 성능을 생산성, 안전성 및 품질 측면에서 분석할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이를 통해 차선도색 장비에 대한 객관적이고 정량적인 평가가 가능할 것으로 판단 된다.

- (2) 생산성 측면에서 차선도색 자동화 장비는 기존 수동식 장비와 비교하여 156.3%의 생산성 달성비율을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (3) 전문가 자문 및 문헌고찰을 바탕으로, 차선도색 단위작업의 안전성 요인 12개와 품질 요인 10개를 도출하였다. 다음으로 AHP 기법을 활용하여 안전성 및 품질 요인별 중요도를 산정하였다.
- (4) 안전성 및 품질 측면에서 자동화 장비 개발로 인한 성능평가 결과, 안전성 향상률 49.8%와 품질 향상률 47.2%를 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 실험한 차선도색 자동화 장비는 프로토타입 모델이므로, 상용화된 장비를 대상으로 성능에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 한다. 본 연구에서 제시한 성능평가 방법론을 통하여 차선도색 장비에 대한 객관적이고 정량적인 개발 타당성 및 기대효과 제시가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15CTAP-C078004-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Han, J. G., Kim, K. T. and Kwon, S. W. (2006). "Performance evaluation of road stripe removing equipment using high pressure Water-Jet." *Korea Journal of construction Engineering and Management*, Vol. 7, No. 6, pp. 79-89.
- Korean National Police Agency (2012). *Traffic Signal Setting & Management Manual* (in Korean).
- Lee, J. H. and Kim, Y. S. (2008). "Development of the performance analysis model based on research and development phases for automated construction equipment." *Korea Journal of construction Engineering and Management*, Vol. 9, No. 2, pp. 67-80.
- Lee, J. H., Kim, Y. S., Lee, J. B. and Jeong, M. H. (2006). "Development of an automated pavement crack sealing machine and its economic feasibility analysis." *Korea Journal of construction Engineering and Management*, Vol. 7, No. 6, pp. 151-164.
- Lim, Y. S., Song, H. Y., Jeong, H. K., Jeong, M. C. and Kong, J. S. (2011). "A development of quantitative analysis model for the policy analysis in feasibility study using the performance assessment method." *Korea Journal of construction Engineering and Management*, Vol. 12, No. 2, pp. 89-100.
- Park, C. H. (2010). *A Study on the Improvement of Construction Work Efficiency by Work Sampling Technique*, Master of Science in Civil & Environmental Engineering, Hanyang University.
- Ryu, Y. T., Park, S. J., Lee, J. H., Jeong, M. H. and Kim, Y. S. (2004). "Development of the evaluation model for performance analysis of a tele-operated hume concrete pipe laying machine." *Korea Journal of construction Engineering and Management*, Vol. 5, No. 1, pp. 157-167.